

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

PAULO ROBERTO DOS SANTOS GONÇALVES

**Monitoramento de Temperatura no Interior da Feira: Projeto e
Construção do Dispositivo**

São José dos Campos
2021

PAULO ROBERTO DOS SANTOS GONÇALVES

**Monitoramento de Temperatura no Interior da Fieira: Projeto e
Construção do Dispositivo**

Projeto de pesquisa apresentado à
Universidade Federal de São Paulo como
requisito parcial do Trabalho de
Conclusão de Curso do curso de
Bacharelado em Engenharia de
Materiais.

Orientadora: Profa. Dra. Aline Capella de
Oliveira (UNIFESP)

Coorientador: João Perez Montilla
(GERDAU)

Paulo Roberto dos Santos Gonçalves

Monitoramento de Temperatura no Interior da Fieira: Projeto e Construção do Dispositivo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de São Paulo como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais.

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Aline Capella de Oliveira

Universidade Federal de São Paulo

Orientadora

João Perez Montilla

Empresa GERDAU SA

Coorientador

Prof. Dr. Dilermando Nagle Travessa

Universidade Federal de São Paulo

Na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei de direitos autorais nº 9610/98, autorizo a publicação livre e gratuita desse trabalho no Repositório Institucional da UNIFESP ou em outro meio eletrônico da instituição, sem qualquer ressarcimento dos direitos autorais para leitura, impressão e/ou download em meio eletrônico para fins de divulgação intelectual, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da UNIFESP São José dos Campos com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Santos Gonçalves, Paulo Roberto.

Monitoramento de Temperatura no Interior da Fieira: Projeto e Construção do Dispositivo/ Paulo Roberto dos Santos Gonçalves - 2021

42f.

Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Paulo, Instituto de Ciência e Tecnologia, 2021.

Orientador: Aline Capella de Oliveira

Título em outro idioma: Temperature monitoring inside the wire die: Design and manufacture of the device.

1. Trefilação de materiais. 2. Temperatura na fieira. 3. Monitoramento de temperatura. 4. Controle de temperatura. I. Oliveira, Aline Capella de. II. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Paulo, Instituto de Ciência e Tecnologia. III. Monitoramento De Temperatura No Interior Da Fieira: Projeto e Construção do Dispositivo.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, a Deus, por ser minha maior fonte de motivação para superar todos os desafios a fim de alcançar meus objetivos.

Aos meus pais e irmãos, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando em todos os momentos, e nunca duvidarem do meu potencial, mesmo quando eu mesmo tinha dúvidas.

À minha namorada, Vitória, por ter estado sempre ao meu lado, tanto nos bons, quanto nos maus momentos, e por ser a minha maior fonte de alegria.

À minha orientadora, Aline Capella, pela oportunidade e também por ter me guiado durante toda a execução deste projeto.

Aos meus coorientadores, João Perez Montilla e Leandro Batisteti, por terem sido as maiores e melhores fontes de conhecimento que eu poderia ter durante a execução deste trabalho.

À minha colega de instituição, Ana Fernandes, por ter sido uma grande parceira de projeto e amiga.

Aos meus professores, por terem guiado meu aprendizado durante todos os anos de graduação, me fornecendo conhecimento e correções que me moldaram como profissional.

A todos da empresa Gerdau, pelo fornecimento de conhecimento e de todo apoio técnico que me foi fornecido ao longo deste trabalho.

A todos que contribuíram, de alguma forma, para a execução deste projeto e também para o meu aprendizado pessoal e profissional.

Resumo

Sabe-se que existe uma perda significativa na velocidade de operação dos equipamentos de trefilação, segundo conhecimento industrial passado pela empresa parceira, a Gerdau, estima-se que essa perda esteja em torno de 20%, ou seja, existem uma grande oportunidade de ganho de performance. Parte dessa perda de velocidade se deve à má escolha de parâmetros operacionais, como o sabão lubrificante e a geometria da fieira, mas para que essa escolha seja feita de forma precisa, é necessário conhecer a temperatura no interior da fieira durante um passe de trefilação. Este trabalho propõe um dispositivo para o monitoramento de temperatura durante o processo de trefilação em escala industrial, o que até o momento, não existe. Para alcançar o objetivo, foi analisada a escassa, porém importante, literatura sobre o assunto, onde um dispositivo semelhante já foi construído para ser aplicado em escala laboratorial, o projeto foi modificado e adequado para os processos industriais da Gerdau. O dispositivo apresentado aqui cumpre todos os requisitos exigidos para o projeto, é de fácil utilização, pode ser aplicado para diferentes processos sem qualquer alteração e possui relativamente baixo custo.

Palavras-chaves: Trefilação. Monitoramento. Temperatura. Fieira.

Abstract

It is known that there is a significant loss in the speed of operation of the drawing equipment, according to industrial knowledge passed by the partner company, Gerdau, it is estimated that this loss is around 20%, that is, there is a great opportunity for performance gain. Part of this loss of speed is due to the poor choice of operating parameters, such as the lubricating soap and the die geometry, but for this choice to be made accurately, it is necessary to know the temperature inside the die during a drawing pass. This work proposes a device for the monitoring of temperature during the drawing process on an industrial scale, which so far does not exist. To achieve the objective, the scarce, but important, literature on the subject was analyzed, where a similar device has already been built to be applied on a laboratory scale, the project was modified and adapted to Gerdau's industrial processes. The device presented here meets all the requirements required for the project, is easy to use, can be applied to different processes without any changes and has a relatively low cost.

Keywords: Wire Drawing. Monitoring. Temperature. Drawing Die.

Índice de Ilustrações

Figura 1: Ilustração de uma trefilação medieval, conforme mostrado no <i>Hausbuch der Mendelschen Zwölfbrüderstiftung zu Nürnberg</i>	11
Figura 2: The Wire Drawing Mill de Albrecht Dürer - 1489. (Staatliche Museen, Berlin).	12
Figura 3: Representação do processo de trefilação e forças atuantes.	13
Figura 4: Esquema de um mecanismo de trefilação simples, com apenas uma fieira.	14
Figura 5: Detalhes da geometria de uma fieira.	15
Figura 6: Fieira com carcaça desmontável Paramount.....	16
Figura 7: Sensores termopar instalados de dois modos nos experimentos de Levrau.	18
Figura 8: Correlação entre as temperaturas obtidas pelos dois termopares utilizados nos experimentos de Levrau.	19
Figura 9: Caixa de Sabão.	21
Figura 10: Arame apresentando defeitos superficiais.....	22
Figura 11: Desenho 3D de uma fieira de pressão desmontável em posição aberta, vista em corte.....	24
Figura 12: Termopar Omega TJ79 de 1/16 polegada com bainha de aço inoxidável.	25
Figura 13: Registrador escolhido para o projeto, modelo Omega OM-EL-USB-TC-LCD.	26
Figura 14: Conjunto completo por onde o termopar será instalado.	26
Figura 15: Desenho 3D da fieira com aleta usinada.	27
Figura 16: Sequência de usinagem da carcaça da fieira.	28
Figura 17: Desenho construtivo do projeto de usinagem da carcaça de fieira para instalação do termopar, unidades em milímetros.....	28
Figura 18: Desenho do conjunto de bucha e tubo.	29
Figura 19: Conjunto composto por tubo e bucha unidos através de uma rosca M4.	29
Figura 20: Desenho construtivo da bucha para conexão do tubo à carcaça, dimensões em milímetros.....	29

Figura 21: Dispositivo para medição e monitoramento de temperatura durante o processo de trefilação a seco.....	30
Figura 22: Itens que serão utilizados a confecção do dispositivo.	31
Figura 23: Usinagem da carcaça da fieira.	32
Figura 24: Conjunto mecânico completo.....	32
Figura 25: Dispositivo completo, tanto a parte mecânica quanto a parte eletrônica.....	33
Figura 26: Fluxograma do mecanismo do dispositivo completo.	34

Índice de Tabelas

Tabela 1: Exemplos de possíveis combinações de reduções e velocidades para uma trefila de 7 passes.	20
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	OBJETIVO E JUSTIFICATIVAS	10
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	11
	3.1. Breve histórico do desenvolvimento da trefilação	11
	3.2. Características do processo de trefilação	13
	3.2.1 Temperatura de trefilação.....	16
	3.2.2 Velocidade de trefilação	19
	3.2.3 Lubrificante	20
	3.2.4 O efeito do super aquecimento.....	22
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
	4.1. Concepção e projeto do sistema de monitoramento de temperatura.....	23
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
	5.1. Medição da temperatura: Monitoramento e aquisição de dados	25
	5.2. Posicionamento do termopar na fieira.....	26
	5.3. Aquisição dos componentes.....	31
	5.4. Usinagem da carcaça da fieira	31
	5.5. Mecanismo do dispositivo	33
	5.6. Proposta de ensaio	34
	5.7. Aplicação industrial	35
6	CONCLUSÕES.....	36
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A trefilação é um dos tipos de processamento de materiais por conformação mecânica mais antigos e ainda amplamente empregado em materiais metálicos. Os produtos da trefilação são comumente barras, fios, arames e tubos, que podem ser encontrados em muitas aplicações, desde fios de cobre, que compõem equipamentos eletrônicos, até barras de aço, que fornecem reforço estrutural às estruturas na construção civil (Dieter, 1981) (Filho, 2011).

O processo de trefilação consiste, de forma simplificada, no estiramento de um metal pela passagem através de uma matriz com formato de um orifício cônico, denominado fieira, resultando na redução da área transversal do material (Filho, 2011) (Wright, 2011). Dessa forma, é um processo muito eficiente para a obtenção de produtos de perfil circular, com diâmetros muito inferiores ao seu comprimento (Filho, 2011). Embora a trefilação seja relativamente simples e amplamente empregada na conformação de metais, a qualidade do produto final é dependente de diversas variáveis de processo, sendo as principais: a geometria e o material da fieira, o lubrificante utilizado durante o processamento e a velocidade de processamento do material (Wright, 2011).

Esse projeto é realizado em parceria com a empresa Gerdau S.A., maior produtora de aços do Brasil, e uma das principais produtoras de aços longos do mundo. Em sua planta em São José dos Campos-SP, o principal processamento empregado no aço é a trefilação para produção de arames, barras, arames de soldas, entre outros.

Um dos problemas, identificado pela empresa durante o processo de trefilação, é o superaquecimento do material durante seu processamento, o que pode resultar na deterioração do lubrificante e comprometer a qualidade do material trefilado, além de reduzir o tempo de vida da fieira (Wright, 2011) (Levrau, 2006). Assim, a escolha do lubrificante, assim como os demais parâmetros de processo, é de vital importância para manter a produtividade e qualidade do produto industrial.

Para que seja eficiente, o lubrificante deve formar um filme contínuo na interface entre o metal processado e a fieira. A interrupção desse filme lubrificante aumenta o atrito entre as partes, podendo causar marcas na superfície do fio produzido (Levrau, 2006). Uma solução encontrada pelo setor produtivo, a fim de

contornar esse problema, é diminuir a velocidade de processo, o que consequentemente reduz a produtividade, logo, é mais benéfico para a produtividade que se contorne o problema do superaquecimento alterando outros parâmetros operacionais, citados anteriormente, mas para isso, é necessário que se saiba quais são os melhores parâmetros para que se atinja as menores temperaturas. O controle e monitoramento da temperatura do processo de trefilação não é feito pela indústria, pelo menos não é divulgado para a comunidade acadêmica, e a literatura científica para esse tema também é escassa, a explicação para isso é que o procedimento não é simples, porém as oportunidades de ganho de produtividade são grandes e por isso, é de grande interesse da Gerdau.

2 OBJETIVO E JUSTIFICATIVAS

Este projeto tem como objetivo propor e projetar um sistema de monitoramento e medição da temperatura no interior da fieira, durante o processo de trefilação do aço, em escala industrial, a fim de possibilitar seu controle para obtenção do produto trefilado com qualidade. Para isto, como objetivos específicos espera-se:

- projetar um sistema de monitoramento de temperatura que possibilite sua medição na superfície externa da fieira;
- confeccionar o sistema de medição de temperatura, possibilitando sua montagem na máquina de trefilar da empresa Gerdau; e
- propor uma metodologia de medição e controle da temperatura alcançada na trefilação do aço, em escala industrial.

Com o sistema projetado e construído e os dados obtidos, a partir da medição da temperatura durante a trefilação do metal, espera-se ser possível adequar o processo industrial, com a escolha otimizada do lubrificante e da geometria da fieira, a fim de minimizar a variação de temperatura e aumentar a velocidade de processo.

Cabe ressaltar que, além do ganho financeiro que a empresa Gerdau pode ter com o aumento de produtividade em suas máquinas de trefilação, esse projeto fortalece a parceria institucional entre empresa e instituição de ensino e pesquisa, possibilitando que mais projetos possam ser desenvolvidos no futuro.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Breve histórico do desenvolvimento da trefilação

Registros arqueológicos mostram que o processo de trefilação já era utilizado pelos egípcios, por volta de 3000 a.C., para fabricação de adornos feitos em ouro, sendo provável que a técnica se baseasse na passagem de tiras de ouro dobradas por orifícios esculpidos em pedras. Já na Idade Média, por volta de 1125, o monge Theophilus Presbyter escreveu sobre a tecnologia de trefilação, deixando claro que a prática comercial de trefilação estava emergindo (Wright, 2011).

A cidade de Nuremberg, na Alemanha, foi um importante centro de tecnologia de arames da Idade Média e Renascimento, com documentações datadas desde o século XIV ao século XVI, encontradas no *Hausbuch der Mendelschen Zwölfbruderstiftung zu Nürnberg* (Wright, 2011). No início do século XIV, Rudolph von Nurembeg desenvolveu uma máquina de trefilar movida por energia hídrica, uma vez que, até então, as máquinas empregadas eram manuais. As matrizes de pedra dos egípcios foram substituídas por placas de aço, como mostrado na Figura 1.

Figura 1: Ilustração de uma trefilação medieval, conforme mostrado no *Hausbuch der Mendelschen Zwölfbruderstiftung zu Nürnberg*.

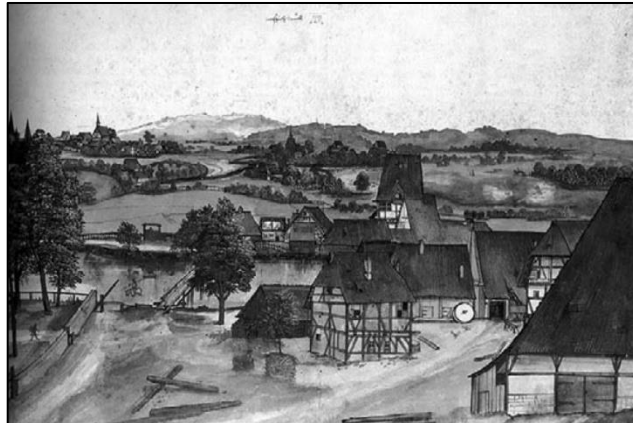


Fonte: Wright, 2011

O desenvolvimento de lubrificantes tem sido um aspecto muito importante na evolução da trefilação. As primeiras trefilações foram lubrificadas, provavelmente, utilizando gordura animal ou sebo. Esses materiais eram complementados

adicionando-se material particulado, como cal, negro de fumo, grafite e alcatrão. Materiais reativos, que mantêm a integridade dos lubrificantes a altas temperaturas, foram introduzidos posteriormente (Wright, 2011). O pintor alemão Albrecht Dürer, um dos pintores mais famosos do Renascimento, retratou em um dos seus quadros um moinho de trefilação, em 1489, o chamado *The Wire Drawing Mill*, Figura 2.

Figura 2: The Wire Drawing Mill de Albrecht Dürer - 1489. (Staatliche Museen, Berlin).



Fonte: Wright, 2011

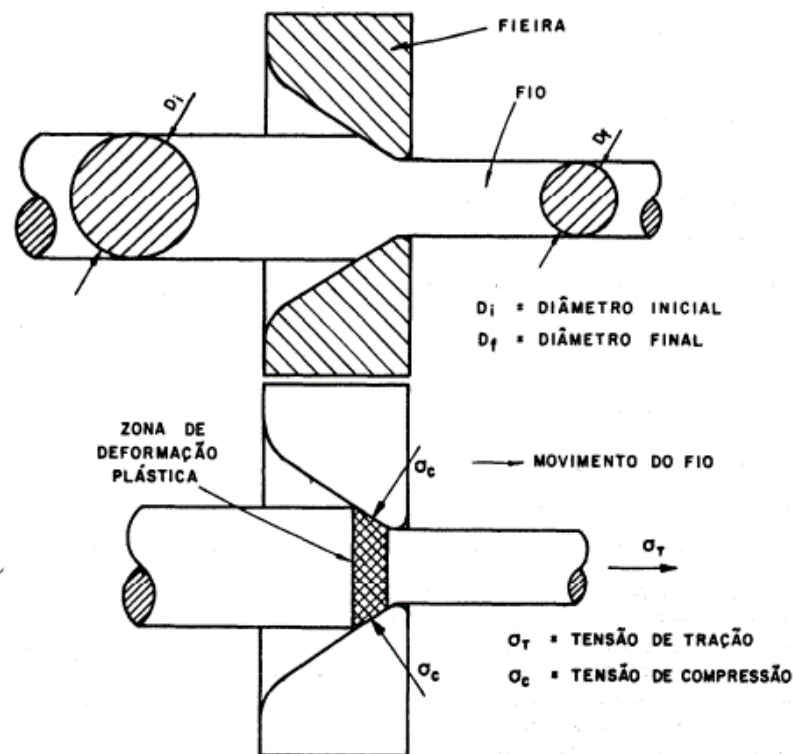
A partir da Revolução Industrial, no final do século XVIII, o século seguinte, XIX, envolveu grandes evoluções para a tecnologia de trefilação, principalmente em relação à produtividade. Com a implementação de novos produtos advindos das necessidades trazidas pela mudança social e cultural do mundo em modernização, a demanda por produtos trefilados, como: cabos de aço (1820), fio de telégrafo (1844-1854), pregos de arame (1851-1875), arame farpado (1868), fio de telefone (1876), parafusos (1879), molas (1879) e cercas de arame (1884), cresceu consideravelmente. O desenvolvimento de ferro fundido e matrizes de aço ferramenta acompanharam o aumento na produtividade do século XIX, e matrizes de diamante natural foram empregadas na trefilação de materiais com diâmetros abaixo de 1 mm (Wright, 2011).

No século XX, os avanços continuaram, principalmente, na área de novos materiais e tecnologias de materiais para as fieiras, como o desenvolvimento de materiais sinterizados de extrema dureza, como ligas de carbeto de tungstênio e de diamantes sintéticos. Cabe ressaltar que, o desenvolvimento do metal duro é creditado a dois pesquisadores alemães independentes, Baumhauer e Schröter, que incorporaram pó de cobalto e carboneto de tungstênio em um compacto de sinterização, em 1923 (Wright, 2011).

3.2. Características do processo de trefilação

O processo de trefilação consiste na passagem de um material metálico através de uma matriz, uma ferramenta com orifício cônico de diâmetro inferior ao deste fio, denominada fieira. O processamento resulta na redução da seção transversal do metal e aumento de seu comprimento longitudinal, em função da força de tração empregada, que movimenta o material através da fieira, promovendo seu escoamento plástico, causado por forças de compressão que atuam indiretamente sobre o material através da fieira (Dieter, 1981). Uma representação esquemática do processo de trefilação e suas forças atuantes são mostrados na Figura 3. Dessa forma, apesar de ser trativo o esforço aplicado diretamente no metal na direção axial, o esforço que vai realizar o trabalho de redução de área é o de compressão, sendo o processamento classificado como de compressão indireta (Filho, 2011) (Dieter, 1981).

Figura 3: Representação do processo de trefilação e forças atuantes.

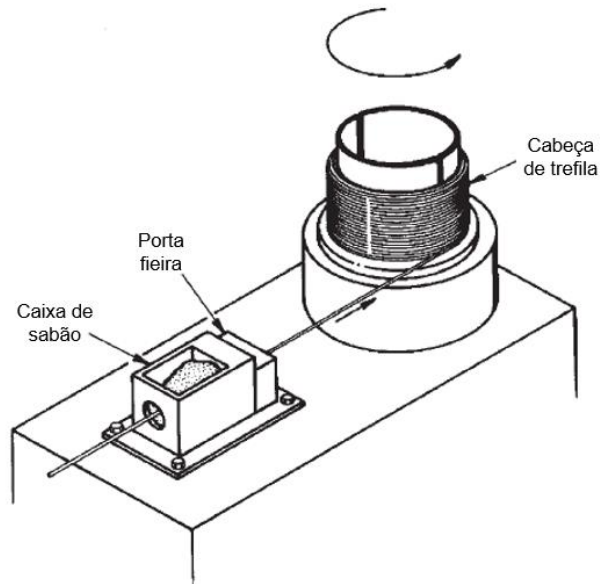


Fonte: Filho, 2011.

Além da fieira, uma máquina de trefilação de arames possui alguns outros componentes importantes (Figura 4), sendo: a porta fieira, onde a ferramenta é fixada; o arame é tracionado por um tambor rotativo, conhecido como cabeça de trefila, e o lubrificante, responsável pela redução do atrito entre material processado. Em relação ao lubrificante, este pode ser inserido através de uma caixa de sabão, para

lubrificantes sólidos, ou diretamente injetado na entrada da fieira, no caso de lubrificantes líquidos. O sistema pode até mesmo ser submerso no lubrificante (Wright, 2011).

Figura 4: Esquema de um mecanismo de trefilação simples, com apenas uma fieira.

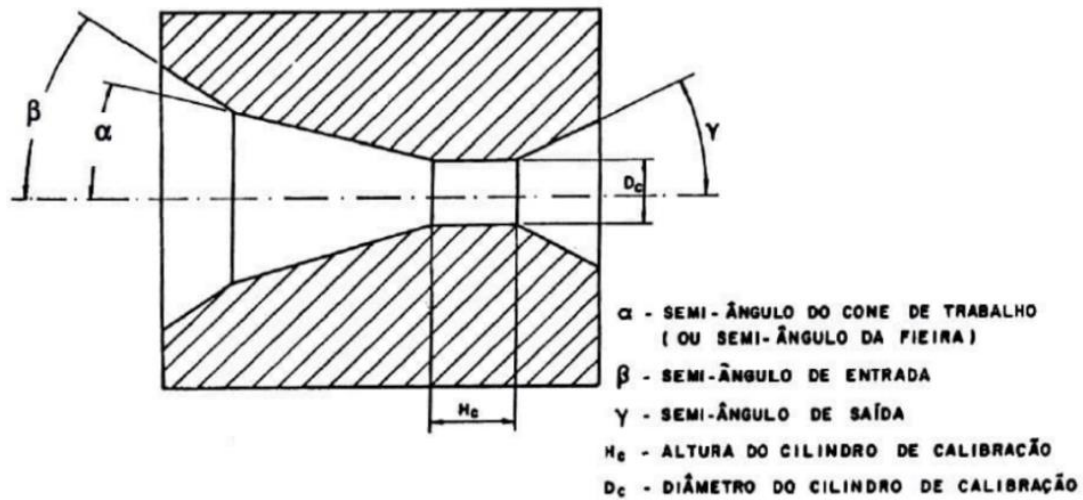


Fonte: Wright, 2011 - Adaptado pelo autor.

A fieira, além de ser responsável pelo trabalho de redução de área do material, vai determinar, por meio de sua geometria, as dimensões do arame (Dieter, et al., 2003). A fieira é constituída de 4 regiões: o cone de entrada, responsável por guiar o metal e o lubrificante em direção ao cone de trabalho; o cone de trabalho, região que exerce compressão sobre o material e é responsável pelo trabalho de redução do mesmo, o cilindro de calibração (também conhecido como paralelo da fieira), onde ocorre o ajuste do diâmetro do material trefilado, e por fim, o cone de saída, responsável por permitir a saída livre do fio, sem causar danos em sua superfície (Filho, 2011).

Dos parâmetros envolvidos na trefilação, representados na Figura 5 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, o ângulo do cone de trabalho, também conhecido como semiângulo da fieira, é um dos mais importantes no processamento do material, representada pela letra α na Figura (Wright, 2011). Quando o ângulo da fieira é pequeno, a redução de área é sutil. À medida que o ângulo aumenta, essa redução se torna mais abrupta. A lubrificação também é afetada pelo ângulo da fieira, podendo ser mais ou menos eficiente, dependendo da tribologia do sistema.

Figura 5: Detalhes da geometria de uma fieira.



Fonte: Filho, 2011

A redução (r) do material que passa através da fieira pode ser calculada pela equação 2.1 (Wright, 2011), onde o arame, que entra na fieira com uma área transversal A_0 , ao sair desta terá sua área transversal reduzida, A_1 , podemos correlacionar as áreas com os diâmetros inicial, D_0 , e final D_1 . Podemos então escrever a redução das seguintes maneiras:

$$r = \frac{A_0 - A_1}{A_0} = 1 - \frac{A_1}{A_0} = 1 - \left(\frac{D_1}{D_0}\right)^2 \quad 1$$

Diversos outros tipos de fieiras também podem ser encontrados, sendo um tipo particular, a fieira de pressão com suporte desmontável, Figura 6. Essa fieira é particularmente importante no presente estudo, pois, além de ser amplamente empregada pela empresa Gerdau em seu processo de trefilação, tem características muito vantajosas para o projeto de medição de temperatura. A carcaça de fieira desmontável possibilita a retirada das fieiras para substituição, não sendo necessário substituir o conjunto completo. Além disso, o mecanismo de fieira de pressão consiste em utilizar duas fieiras ao invés de uma, como ocorre nos processos convencionais. A primeira fieira, por onde o metal a ser trefilado passa, é a fieira de pressão. Essa fieira não tem o intuito de realizar o trabalho de redução, mas sim de permitir que o fio-máquina carregue lubrificante para dentro e não o deixe sair, funcionando como uma espécie de válvula. A região entre as duas fieiras, que adquire um aumento de pressão, faz com que o lubrificante saia uniformemente pela segunda fieira, a fieira de redução. Essa fieira vai efetivamente realizar o trabalho de redução e precisa,

portanto, apresentar boa lubrificação em contato com o material. Assim, em função do mecanismo de pressão, a lubrificação é mais eficiente comparada às fieiras tradicionais e, portanto, a velocidade de trefilação também pode ser aumentada.

Figura 6: Fieira com carcaça desmontável Paramount.



Fonte: Paramount Die Website, disponível em <<http://paradie.com>>

Apesar do processo industrial de trefilação ser, em sua maior parte, composto por máquinas de trefilar de passes múltiplos, onde o fio-máquina passa por reduções consecutivas em fieiras de orifícios cada vez menores, estudos mostram que a primeira passagem é a mais importante, pois influencia a aderência do sabão nos demais passes, e pode determinar se o processo, como um todo, vai ser bem sucedido ou não (Levräu, 2006). Tal constatação é importante, pois, este trabalho propõe, inicialmente, o estudo de apenas um passe de trefilação, o que representa o primeiro passe de uma trefilação de passes múltiplos.

3.2.1 Temperatura de trefilação

Quase todo o trabalho de deformação, durante um passe de trefilação, é convertido em calor, embora uma fração desse trabalho possa resultar em defeitos cristalinos na estrutura do material ou em vibrações mecânicas. Em geral, abordagens analíticas mais práticas desconsideram esses parâmetros (Wright, 2011). Além disso, o trabalho de deformação pode ser correlacionado à tensão de trefilação, σ_d . Outro fator importante, principalmente em uma máquina de trefilar multipasses, é a temperatura do fio antes de cada passe, T_0 . A temperatura equivalente do fio ao passar pela fieira pode então ser determinada pela expressão a seguir (Wright, 2011).

$$T_{eq} \approx T_0 + \frac{\sigma_d}{C\rho} \quad 2$$

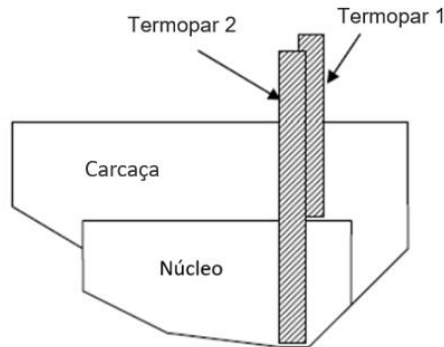
Onde: T_{eq} é a temperatura logo após passar pelo passe em estudo; T_0 é a temperatura inicial do fio antes de passar pela fieira; σ_d é tensão de trefilação; C é o calor específico do arame e ρ a sua densidade.

Sabe-se, então, que para otimizar a temperatura no interior da fieira, deve se buscar a redução da tensão de trefilação, além de resfriar o fio a cada passe, uma vez que os outros termos que determinam a temperatura equivalente são da natureza do material, e, portanto, não passíveis de alteração. Dentre os fatores mencionados, que afetam a tensão de trefilação, o que mais se destaca é o atrito. Esse, por sua vez, depende de uma lubrificação adequada. Caso a temperatura seja demasiadamente elevada, pode ocorrer a degradação e perda de eficiência do lubrificante, ocasionando na quebra da homogeneidade do filme. (Levrau, 2006)

Segundo estudos, uma das formas mais práticas e eficientes de monitorar a variação de temperatura da fieira é por meio de termopares, que podem ser instalados na própria ferramenta. Quanto mais próximo esse sensor estiver do núcleo da fieira, mais precisa será a medição de temperatura de processo. (Levrau, 2006)

Em 2006, Levrau monitorou a temperatura da fieira e para isso testou dois locais estratégicos para a inserção do termopar, Figura 7. O primeiro termopar foi inserido próximo à superfície do núcleo da fieira, enquanto o segundo termopar foi inserido próximo à interface núcleo/carcaça. Levrau também constatou que a temperatura mais elevada ocorre na região do cilindro de calibração da fieira, conhecido como paralelo da fieira e concluiu que, o termopar deve ser instalado o mais próximo possível dessa região, seja ele inserido internamente na fieira, ou na superfície externa (na carcaça).

Figura 7: Sensores termopar instalados de dois modos nos experimentos de Levrau.

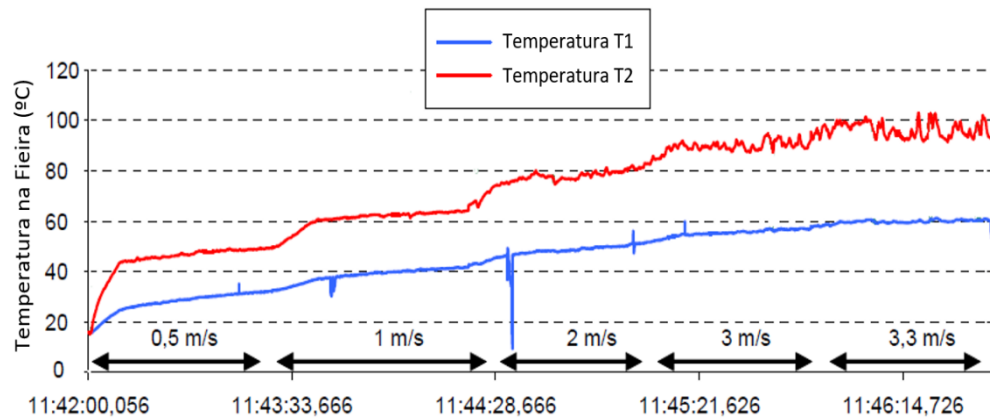


Fonte: Levrau, 2006 - Adaptado pelo autor.

Após experimentos e, analisando os dados obtidos de temperatura coletados em ambos os sensores, Levrau constatou que ambos os sensores são sensíveis às variações de temperaturas, sendo a diferença entre os resultados relacionada a variação de amplitude nos valores. No gráfico apresentado pela Figura 8, pode-se visualizar as variações de temperatura conforme o aumento da velocidade de trefilação, ambos os termopares tiveram um bom resultado.

Levrau, então, calculou a relação entre as temperaturas, sendo as obtidas, a partir do termopar instalado no interior da fieira, duas vezes maior que as temperaturas obtidas pelo termopar instalado na carcaça da ferramenta, alcançando um R^2 (coeficiente de determinação) de 0,9825. Desta forma, ambas as formas de realizar a medição de temperatura no processo de trefilação trazem bons resultados, e para facilitar o processo de usinagem, pode-se optar pela medição a partir do sensor instalado na carcaça da ferramenta, correlacionando posteriormente seus valores aos que seriam encontrados no núcleo da fieira.

Figura 8: Correlação entre as temperaturas obtidas pelos dois termopares utilizados nos experimentos de Levrau.



Fonte: Levrau, 2006 (Adaptado pelo) autor

3.2.2 Velocidade de trefilação

A velocidade de trefilação consiste basicamente no quão rápido o arame passa pela fieira, e é normalmente fornecida em m/s. Trata-se de um dos parâmetros mais importantes durante o processo, principalmente quando consideramos o processo em escala industrial, uma vez que, quanto maior a velocidade, maior a produtividade e, portanto, maior a lucratividade do processo. (Wright, 2011) (Filho, 2011)

Em máquinas multipasses, a velocidade varia em cada fieira, isso ocorre devido à redução de área transversal por conta do processo de trefilação, como o material que está sendo trefilado é incompressível, a redução de área tem que ser compensada por outro parâmetro geométrico, o comprimento. Sabendo que o comprimento do arame aumenta à medida que este é trefilado, a quantidade de material que passa pela primeira fieira não é a mesma quantidade de material que passa pela última fieira, esta última recebe uma quantidade, em comprimento, muito superior, e sendo assim precisa realizar o processo em velocidade muito mais alta. (Wright, 2011) (Dieter, 1981)

Normalmente a velocidade nas máquinas de trefilação multipasses é estabelecida pelo último passe, onde ocorre a velocidade mais alta, mas as velocidades dos demais passes podem ser facilmente correlacionadas com a redução:

$$r = 1 - \frac{V_0}{V_1}$$

Como a máquina fornece a última velocidade, os cálculos para os demais passes devem ser feitos a partir do último, sendo V_0 a velocidade do passe desejado, e V_1 a velocidade do passe seguinte. Um exemplo de velocidades é uma máquina de trefilar multipasses é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Exemplos de possíveis combinações de reduções e velocidades para uma trefila de 7 passes.

Passe	Bitola (mm)	Redução	Velocidade (m/s)
Pay-off	5,50	-	2,9
1	4,60	30%	4,1
2	4,00	24%	5,5
3	3,55	21%	6,9
4	3,20	19%	8,5
5	2,90	18%	10,4
6	2,65	16%	12,5
7	2,50	11%	14,0

Fonte: Elaboração própria.

Este trabalho foca em máquinas de trefilar multipasses, pois essas são de maior interesse industrial e são utilizadas pela fábrica da Gerdau de São José dos Campos. É importante ressaltar que a temperatura inicial é bastante importante tem grande influência no processo, para casos de máquinas passe único, tal fato parece não ser de grande relevância, porém, quando consideramos máquinas multipasses, é extremamente importante que após cada passe o arame tenha tempo suficiente para resfriar. A velocidade tem papel fundamental nessa questão, que pode ser agravada caso o lubrificante não tenha boas características de condução térmica.

Outro fator importante e que também é fortemente afetado pela velocidade de trefilação é a espessura do filme lubrificante, este que também é um fator importante na influência da variação de temperatura no processo de trefilação. De forma geral, é desejado que esse filme seja suficientemente espesso para inibir o aumento da temperatura no arame trefilado e na ferramenta de trefilação (Levrau, 2006).

3.2.3 Lubrificante

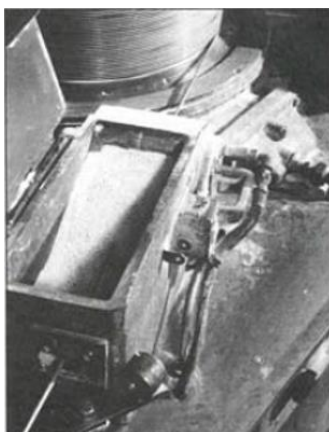
O lubrificante usado na trefilação tem a função de reduzir o atrito entre a fieira e o fio durante o processo. É essencial, porém, que o calor gerado na trefilação, principalmente quando a velocidade de trefilação é elevada, seja dissipado; Caso

contrário, o lubrificante pode falhar e comprometer o processo (Dieter, et al., 2003). Sendo assim, um lubrificante ideal também precisa ter uma boa condutividade térmica, para dissipar o calor gerado a cada passe (Levrau, 2006).

Em geral, para reduções médias a elevadas do metal, são utilizados lubrificantes secos na trefilação: composto particulado composto de material graxo (sais metálicos de ácidos graxos) e cargas minerais, são chamados de sabões (Levrau, 2006). Outros tipos de lubrificantes também são utilizados na indústria, porém, nesse trabalho focaremos nos lubrificantes secos. Existem diferentes tipos de sabões encontrados comercialmente, normalmente a base de Cálcio ou de Sódio, com enchimentos específicos para a aplicação e escolhidas, como cal e óxido de titânio para sabões de a base de cálcio e cal e bórax para sabões a base de sódio (Levrau, 2006).

Na trefilação industrial, o sabão é inserido na caixa de sabão, Figura 9, um dispositivo encontrado a montante da fieira (Levrau, 2006). O sabão, que inicialmente está no estado sólido, entra em estado mesomorfo (ou líquido-cristalino), um estado intermediário entre o estado cristalino dos sólidos e o estado amorfo dos líquidos (Levrau, 2006).

Figura 9: Caixa de Sabão.



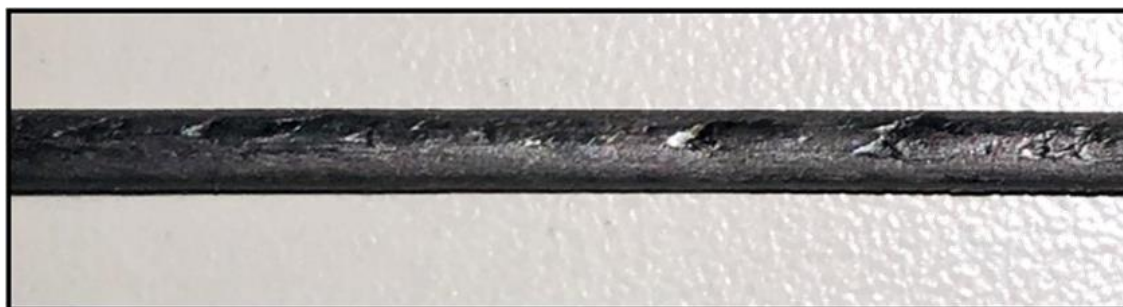
Fonte: Levrau, 2006

O estado mesomorfo é importante para que o lubrificante atinja com sucesso seu objetivo, de permitir uma eficaz redução no atrito entre a fieira e o fio, limitando seu fluxo para fora da região de interesse. Finalmente, o sabão é fundido à medida que é aquecido pelo calor gerado na passagem do material durante a trefilação. Esse sabão líquido penetra na fieira formando um filme hidrodinâmico entre o arame e a fieira (Levrau, 2006) (Wright, 2011).

3.2.4 O efeito do super aquecimento

O super aquecimento do sabão lubrificante no processo de trefilação faz com que ele perca as propriedades desejadas, isso pois a partir de certa temperatura, o lubrificante que antes estava em estado mesomorfo passa para o estado líquido e depois para o estado gasoso, neste estado o sabão é incapaz de formar o filme lubrificante entre os dois componentes, permitindo assim que o arame entre em contato com a fieira, o contato entre os dois resulta em defeitos superficiais, como mostrado pela Figura 10, onde é possível observar riscos no arame trefilado e defeitos superficiais conhecidos como pé-de-corvo. (Levräu, 2006) (Wright, 2011)

Figura 10: Arame apresentando defeitos superficiais.



Fonte: Fornecida pela Gerdau.

Do ponto de vista industrial, arames que apresentem defeitos superficiais, como os apresentados pela Figura 10, não podem ser comercializados e acabam virando sucata, sendo assim, a indústria recorre a maneiras de reduzir a temperatura no processo, e como mencionado anteriormente, uma forma de contornar esse problema é reduzindo a velocidade de trefilação.

Estima-se, em geral, uma perda de 20% na velocidade do equipamento de trefilação, ou seja, a cada grupo de 5 equipamentos, existe uma máquina ociosa. Grande parte dessa perda de velocidade ocorre devido ao superaquecimento do processo de trefilação, que como mencionado anteriormente, reduz a produtividade. Com um custo por máquina de trefilação, instalada, sendo em torno de 2 milhões de dólares, é altamente justificável que haja uma grande preocupação em pesquisas com a finalidade de se estudar a temperatura do processo, para que se possa propor maneiras de recuperar parte dessa perda de produtividade, aumentando a lucratividade da empresa.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos, a primeira etapa executada foi a revisão bibliográfica, que como já mencionado, é bastante escassa. Particularmente para o processamento de material metálico por trefilação, em escala industrial. No entanto, um estudo francês feito por Carole Levrau, em 2006, foi de grande importância para este projeto, uma vez que a autora, pela Escola Nacional Superior de Minas de Paris, junto a duas grandes empresas, uma especializada em trefilação e outra em lubrificantes, a Ugitech e a Condat, respectivamente, estudou a influência da temperatura de sabões secos durante a trefilação. Neste trabalho, Carole Levrau construiu um dispositivo capaz de realizar as medições de temperatura no interior da fieira durante o processo de trefilação.

4.1. Concepção e projeto do sistema de monitoramento de temperatura

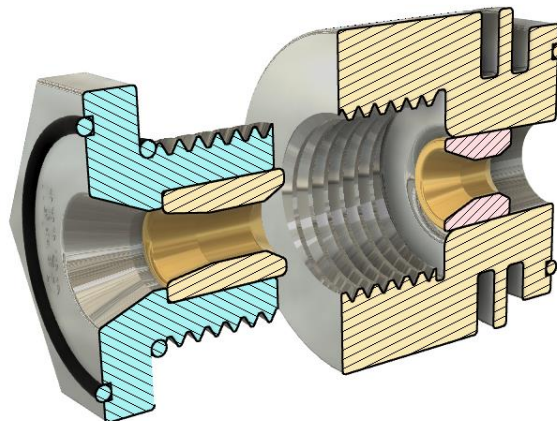
O modelo de medição de temperatura na trefilação proposto, em 2006, por Levrau consistia na inserção de termopares dentro da fieira. Esta ferramenta é composta por uma carcaça de aço e um núcleo de metal duro. Os experimentos de Levrau revelaram que, tanto o termopar instalado no núcleo, quanto o termopar instalado na carcaça, garantiram bons resultados, sendo que o termopar instalado mais próximo da região de redução, no núcleo, fornece temperaturas de maior sensibilidade, sendo que a correlação entre as duas temperaturas é alta. Assim, uma vez que perfurar o núcleo de metal duro é extremamente complexo, devido à elevada dureza do material, neste trabalho optou-se por realizar o monitoramento e medição da temperatura na carcaça da fieira, feita de aço.

Por essa justificativa, foi considerado neste trabalho, o posicionamento do termopar dentro da carcaça da fieira, de modo com que fique o mais próximo possível do paralelo da fieira, região de maior aquecimento (Levrau, 2006). Essa opção tem a vantagem de permitir a utilização de uma fieira desmontável de pressão, modelo utilizado pela Gerdau em muitos de seus processos de trefilação. Assim, pode-se substituir a fieira sem que a substituição interfira na carcaça, facilitando o processo de medição da temperatura e aumentando a flexibilidade do dispositivo.

A carcaça com as fieiras é apresentada, em corte, na Figura 11. O diagrama esquemático mostra as duas partes da carcaça e as duas fieiras em seus interiores:

a fieira de pressão à esquerda e a fieira de redução à direita. É possível visualizar que na região do paralelo da fieira de pressão (mais à direita) a carcaça possui uma aleta para melhorar a troca térmica com o fluido de resfriamento, que envolve a parte externa do conjunto dentro da caixa de fieira.

Figura 11: Desenho 3D de uma fieira de pressão desmontável em posição aberta, vista em corte



Fonte: Elaborado pelo autor. Software: Fusion 360, da Autodesk®.

Como a máquina de trefilar utilizada pela Gerdau é do tipo que rotaciona a fieira, o mecanismo foi desativado durante os ensaios de medição de temperatura, em função da inserção do termopar na fieira. Entretanto, como os ensaios propostos são de curta duração, cerca de 30 minutos, acredita-se que a fieira em modo estacionário não afete consideravelmente os resultados.

Finalmente, após concepção do sistema de monitoramento e medição da temperatura, as especificações dos itens de medição, assim como, as alterações físicas na fieira para inserção do dispositivo de medição foram analisados e definidos em projeto, baseando-se no modelo de carcaça para fieira: ParaLoc Pressure Holder PS43X44-45BFR. Já o projeto mecânico da fieira, modificada para inserção do sistema de monitoramento e medição da temperatura foi realizado utilizando o software de desenho Fusion 360, da Autodesk®. Todas as descrições, desenhos e medidas são apresentados no próximo capítulo, Resultados e discussão, deste trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Medição da temperatura: Monitoramento e aquisição de dados

A partir da concepção do projeto do sistema de medição e monitoramento de temperatura, foi estabelecido que o sensor de temperatura, que melhor se adequa à ferramenta e máquina de trefilação da empresa Gerdau, foi o sensor do tipo termopar, o mesmo tipo utilizado por Levrau (2006) em seu projeto. O termopar é um dispositivo simples e de baixo custo, que mede a temperatura pelo efeito termoelétrico. Seu funcionamento consiste basicamente em dois condutores metálicos, que dão origem ao nome "termopar", unidos em suas extremidades e que quando expostos a uma variação de temperatura, produzem uma diferença de potencial, que é convertido em temperatura. Esse tipo de sensor é ideal para o projeto por permitir a medição localizada em um único ponto, na extremidade de sua haste. Assim, considerando as dimensões reduzidas da carcaça e fieira, além do posicionamento do sensor no ponto mais quente, no paralelo da fieira, que se encontra na direção de uma aleta, reduzindo ainda mais a área útil da carcaça, o modelo escolhido para o projeto termopar tipo K, da marca Omega, modelo TJ79-CASS-116G-4-SMPW-M, com bainha em aço inoxidável de 1/16" de diâmetro e 4" de comprimento, apresentado na Figura 12. Este modelo pode registrar temperaturas entre a ambiente até 900° C, ou seja, com variação adequada para medição de temperatura num processo de trefilação.

Figura 12: Termopar Omega TJ79 de 1/16 polegada com bainha de aço inoxidável.



Fonte: MadgeTech Website <<https://www.madgetech.com>>

Além do sensor, propriamente dito, foi definido um dispositivo para coletar e registrar os dados de temperatura, Data Logger, sendo o OM-EL-USB-TC-LCD, apresentado na Figura 13, o modelo escolhido por sua versatilidade e por permitir que a temperatura medida fosse acompanhada ao longo do processamento, a partir de

um, visor LCD. O modelo conta, ainda, com uma interface USB, permitindo que, após a aquisição de dados, seja possível sua transferência para um computador.

Figura 13: Registrador escolhido para o projeto, modelo Omega OM-EL-USB-TC-LCD.

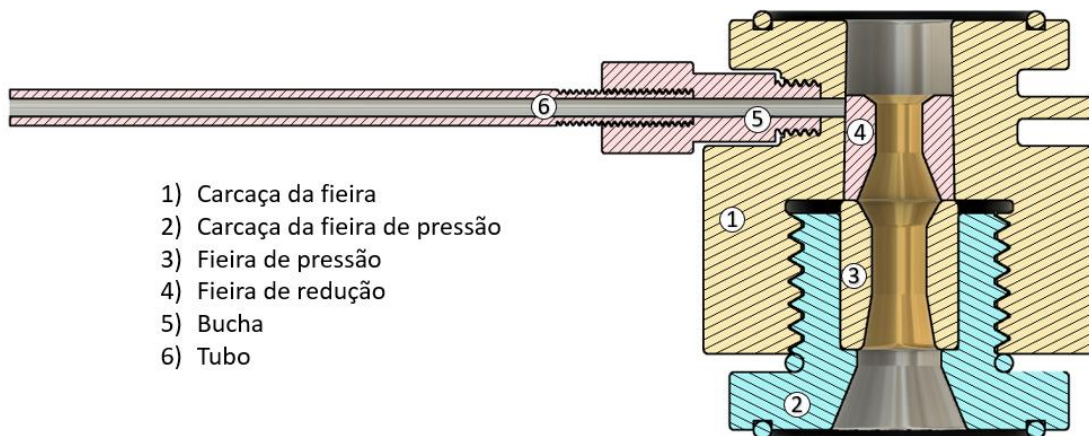


Fonte: Omega Website <<https://www.omega.com>>

5.2. Posicionamento do termopar na fieira

A Figura 14 apresenta o desenho esquemático do projeto mecânico da fieira modificada para inserção do termopar. O conjunto é composto pela carcaça da fieira, devidamente usinada, uma bucha com rosca, para que o conjunto possa ser desmontado, e um tubo por onde o termopar poderá ser inserido, todos os itens citados são de aço inoxidável.

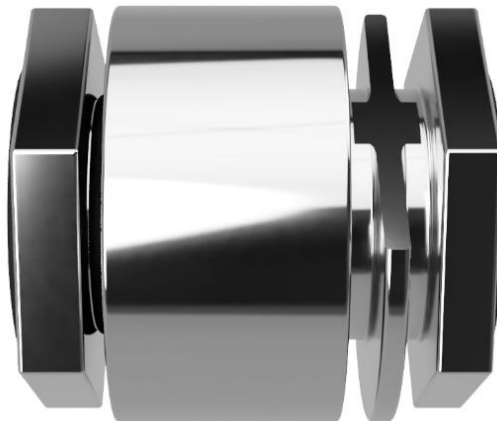
Figura 14: Conjunto completo por onde o termopar será instalado.



Fonte: Elaborado pelo autor. Software: Fusion 360, da Autodesk®.

Para a usinagem da carcaça da fieira, parte da aleta foi desbastada, revelando a parede da carcaça na sua região mais baixa, como mostrado na Figura 15.

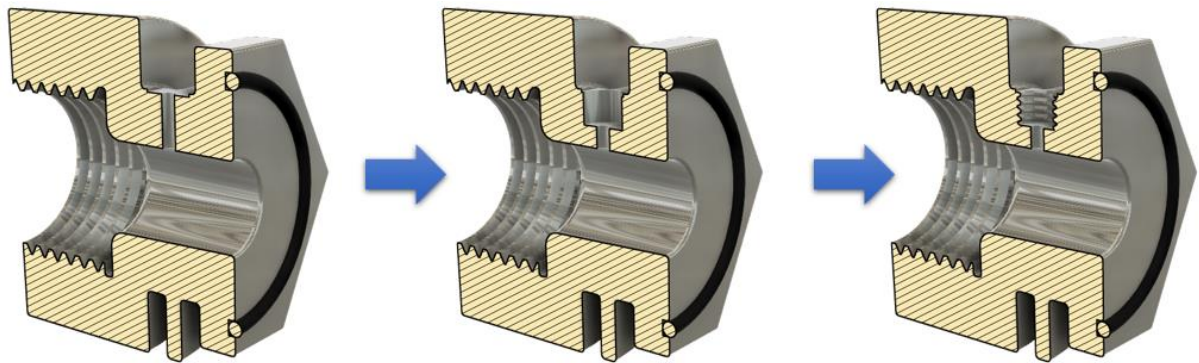
Figura 15: Desenho 3D da fieira com aleta usinada.



Fonte: Elaborado pelo autor. Software: Fusion 360, da Autodesk®.

Com a aleta desbastada, tem-se uma superfície plana, usinada para a formação de um orifício passante por onde o termopar foi instalado, permitindo o contato da ponta do termopar com a superfície externa da fieira. Na região externa do orifício uma bucha de fixação foi rosqueada à carcaça, facilitando a inserção do termopar nesta região. Como a carcaça trabalha imersa em líquido, é necessário que o termopar seja isolado, para isto, foi projetado um dispositivo em duas partes: a bucha e o tubo. A bucha consiste em uma parte intermediária, que une a carcaça da fieira com o tubo por onde o termopar foi inserido. De um lado, a bucha possui a rosca externa M6x1 para fixação à carcaça. Do outro lado, possui rosca interna M4x0.7, para fixação do tubo. A bucha é vazada em seu interior com um orifício de 2mm. O tubo, com diâmetro interno de 2 mm e externo de 4 mm, permite a passagem do termopar. O comprimento do tubo, 70 mm, é suficiente para que a abertura do tubo passe do nível do fluido refrigerante, e também permitir o acesso de toda a haste do termopar até o encontro com a fieira. Cabe ressaltar que uma das extremidades do tubo foi rosqueada, M4x0.7, para sua conexão à bucha. O detalhamento da região do orifício e roscas podem ser visualizados na Figura 16.

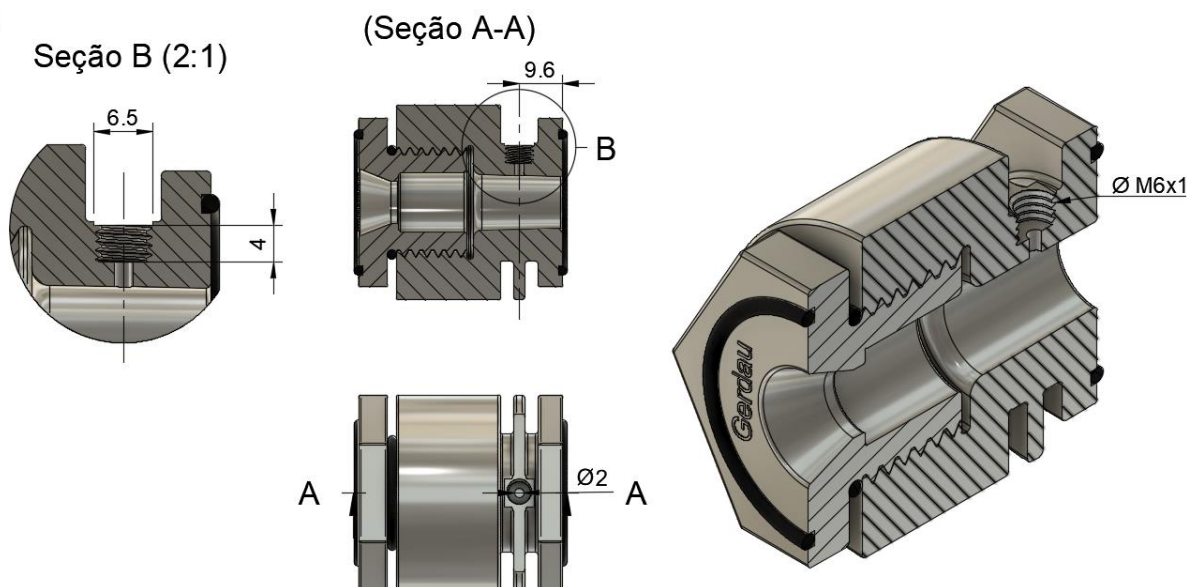
Figura 16: Sequência de usinagem da carcaça da fieira.



Fonte: Elaborado pelo autor. Software: Fusion 360, da Autodesk®.

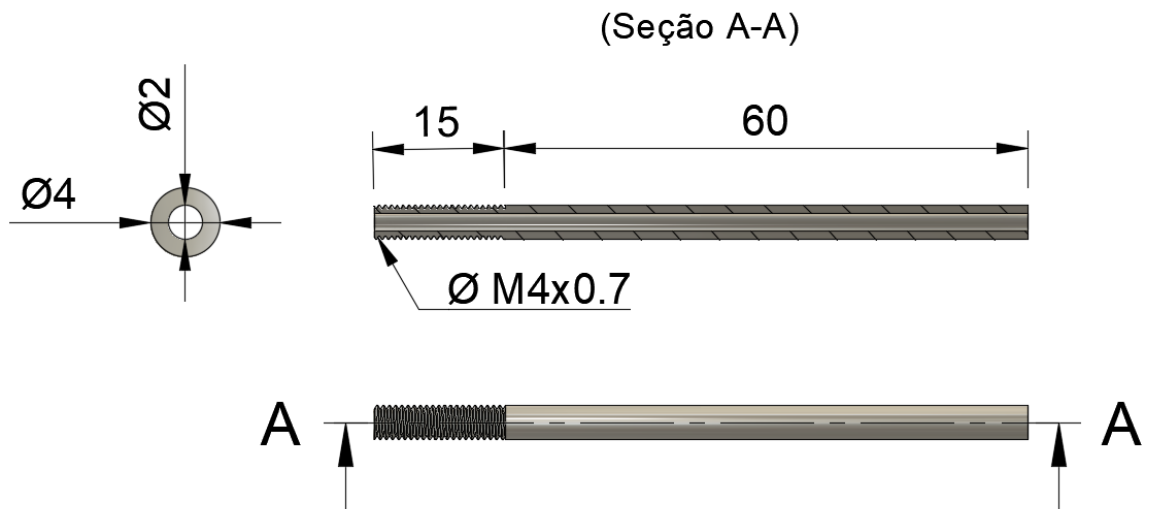
O desenho construtivo da carcaça de fieira e suas dimensões (em mm) são apresentados na Figura 17. O desenho construtivo, contendo todas as dimensões da bucha, é apresentado na Figura 18. E o desenho mecânico construtivo do tubo é apresentado pela Figura 19.

Figura 17: Desenho construtivo do projeto de usinagem da carcaça de fieira para instalação do termopar, unidades em milímetros.



Fonte: Elaborado pelo autor. Software: Fusion 360, da Autodesk®.

Figura 18: Desenho do conjunto de bucha e tubo.



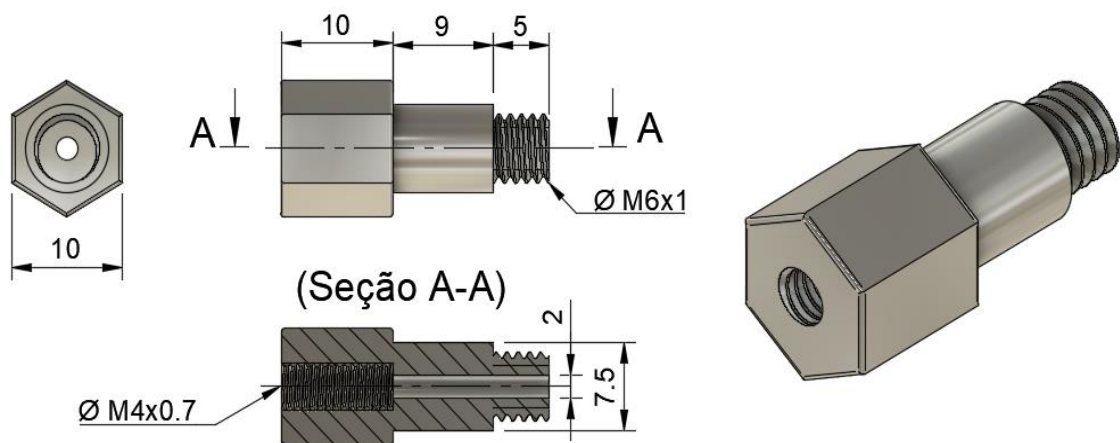
Fonte: Elaborado pelo autor. Software: Fusion 360, da Autodesk®.

Figura 19: Conjunto composto por tubo e bucha unidos através de uma rosca M4.



Fonte: Elaborado pelo autor. Software: Fusion 360, da Autodesk®.

Figura 20: Desenho construtivo da bucha para conexão do tubo à carcaça, dimensões em milímetros.



Fonte: Elaborado pelo autor. Software: Fusion 360, da Autodesk®.

Quando unidos, o tubo e a bucha ficam como mostrado pela Figura 19. Como ressaltado, o objetivo da junção, feita pela rosca, seja capaz de isolar hidraulicamente o interior do conjunto

Quando unidos, o tubo e a bucha ficam como mostrado pela Figura 21. Assim, após todos os resultados de projeto, descritos anteriormente, foi possível a obtenção do dispositivo portátil, de baixo custo, eficiente, e capaz de realizar medições de temperatura no interior da fieira em um processo de trefilação em escala industrial. Cabe ressaltar que, embora tenha sido projetado com a finalidade de ser aplicado nos equipamentos de trefilação da Gerdau de São José dos Campos, o dispositivo pode ser utilizado para monitoramento de temperatura em grande parte das máquinas de trefilação encontradas na indústria. A parte mecânica do dispositivo completo é apresentada esquematicamente na Figura 21.

Figura 21: Dispositivo para medição e monitoramento de temperatura durante o processo de trefilação a seco.



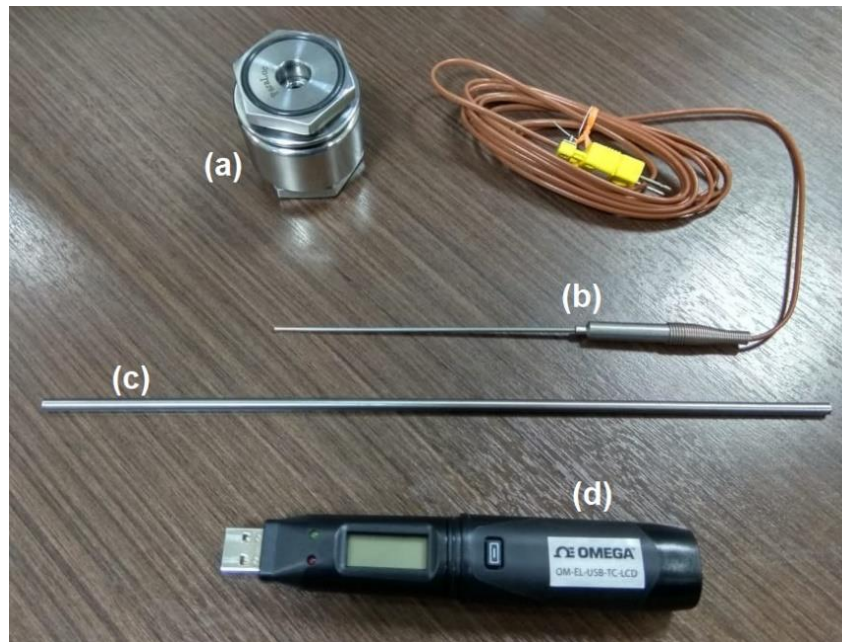
Fonte: Elaborado pelo autor. Software: Fusion 360, da Autodesk®.

Com exceção do conjunto de suporte, fieira de redução e fieira de pressão, os demais itens do conjunto mecânico foram fabricados em aço inoxidável AISI 304 e, portanto, podem ser facilmente usinados. Além disso, o conjunto permite a substituição das fieiras, de maneira que o dispositivo de medição de temperatura possa ser utilizado para diferentes tipos de reduções, desde que respeite os limites dimensionais da carcaça.

5.3. Aquisição dos componentes

Baseado nas especificações propostas, foram adquiridos os componentes necessários para a construção do dispositivo. A Figura 22 mostra os itens comprados, em que (a) é a carcaça da fieira (b) é o termopar (c) é o tubo de aço que foi utilizado para inserção do termopar e (d) é o registrador de dados.

Figura 22: Itens que serão utilizados a confecção do dispositivo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4. Usinagem da carcaça da fieira

A usinagem da carcaça da fieira e dos componentes mecânicos aconteceu nas dependências da Gerdau de São José dos Campos, pois a empresa conta com um laboratório completo de usinagem e com profissionais qualificados para executar o serviço. Os detalhes do projeto, descritos no Capítulo 5.2, foram seguidos e todas as etapas de usinagem foram acompanhadas. A Figura 23 apresenta duas fotografias tiradas durante a usinagem da carcaça, na imagem é possível visualizar a aleta desbastada e os orifícios sendo feitos.

Figura 23: Usinagem da carcaça da fieira.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 24 apresenta o conjunto mecânico completo, usinado de acordo com o projeto mecânico apresentado e detalhado anteriormente.

Figura 24: Conjunto mecânico completo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5. Mecanismo do dispositivo

O dispositivo completo, contendo tanto a parte mecânica, quanto a parte eletrônica já posicionada da forma como poderá ser instalada durante a operação é apresentado na Figura 25.

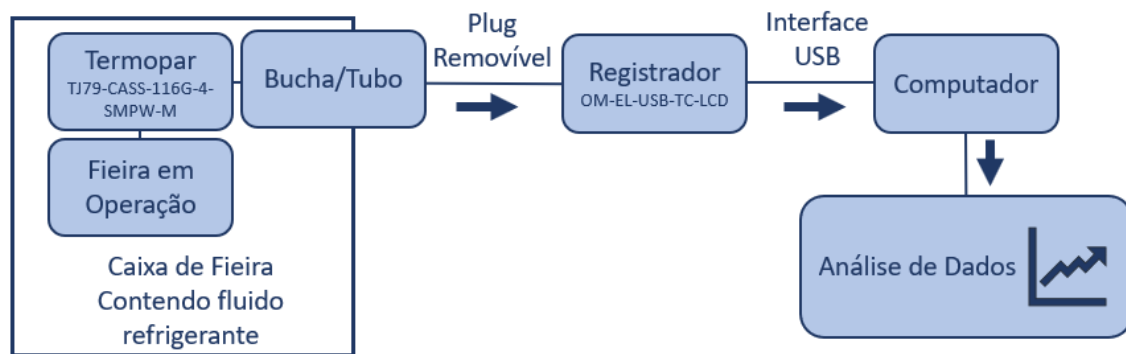
Figura 25: Dispositivo completo, tanto a parte mecânica quanto a parte eletrônica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A parte eletrônica do dispositivo é composta pelo termopar, modelo TJ79-CASS-116G-4-SMPW-M, e o registrador de dados, modelo OM-EL-USB-TC-LCD, ambos da marca Omega e comercializados no Brasil. Os dispositivos funcionam perfeitamente juntos, a utilização é extremamente simples e não requer muito tempo para que se consiga utilizar de forma bastante satisfatória. O software, EasyLogUSB, pode ser adquirido gratuitamente através do site do fabricante, nele é possível fazer a transferência de dados do dispositivo para o computador, onde o próprio software possui uma ótima ferramenta para visualização gráfica dos resultados, caso haja a necessidade, o software também permite a extração de dados para diferentes formatos, incluindo formatos mais populares e utilizados, como em Excel. A funcionalidade do dispositivo completo é apresentada, em formato de fluxograma, pela Figura 26.

Figura 26: Fluxograma do mecanismo do dispositivo completo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.6. Proposta de ensaio

Com o dispositivo finalizado, é proposto que o teste seja feito para validar o equipamento. Primeiramente recomenda-se que seja realizado um período de adequação com o termopar, registrador e com o software do fabricante, evitando imprevistos durante o teste.

Como a carcaça permite a substituição das fieiras, não existe uma exigência de qual fieira utilizar durante o teste, o dispositivo permite que haja bastante flexibilidade nesse quesito. Também não há exigência quanto o tipo de sabão e material do fio máquina utilizado.

A instalação do equipamento é relativamente simples, mas é importante a verificação de alguns detalhes previamente. A fieira rotativa deve ser desativada, uma vez que o dispositivo não permite a funcionalidade; é fundamental que a carcaça de fieira seja posicionada de maneira que o termopar fique para cima, e que o nível da água refrigerante dentro da caixa de fieira fique abaixo do tubo por onde o sensor termopar será instalado.

Com a carcaça e o termopar devidamente instalados, e o registrador conectado e posicionado de forma segura, o teste pode iniciar. Nesta etapa não existe diferença de processo, o procedimento é exatamente o mesmo realizado em um processo convencional. Quanto a velocidade da máquina, recomenda-se que seja elevada de forma gradativa e que após cada aumento de velocidade, a máquina permaneça nessa velocidade por 2 ou 3 minutos após a estabilização, antes que a velocidade seja elevada novamente, recomenda-se também que sejam anotados os horários e as temperaturas para cada variação de velocidade da máquina. Essas são boas

práticas que facilitarão a análise e a validação dos resultados posteriormente. Como a fieira rotativa estará desativada durante todo o teste, não é recomendado que o tempo de ensaio seja demasiadamente longo, cerca de 30 minutos são suficientes.

Ao final do ensaio, o registrador pode ser desacoplado do sensor termopar e conectado ao computador para transferência de dados, o resultado encontrado deve ser um gráfico de temperatura por tempo, que poderá ser correlacionado com as velocidades da máquina, anotadas durante o ensaio. O dispositivo pode ser removido da máquina de trefilar utilizando o procedimento padrão, é importante que esse suporte não seja utilizado para produção industrial contínua, sendo exclusivamente utilizado para ensaios de monitoramento de temperatura, junto com o restante dos equipamentos.

5.7. Aplicação industrial

Por se tratar de um tema com pouca base na literatura, a validação dos dados de temperatura é uma tarefa difícil, porém, é importante levar em consideração que para uma análise comparativa entre parâmetros operacionais, como o tipo de sabão lubrificante e a geometria da fieira, os resultados obtidos com a aplicação do dispositivo proposto neste trabalho, é válida, uma vez que o termopar aponta uma temperatura que, apesar de não ser a temperatura do sabão, ou da superfície interna da fieira, é uma temperatura real de um ponto muito próximo ao fim do paralelo da fieira, portanto, uma temperatura mais elevada na região do termopar, também significa uma temperatura mais elevada na região de interesse. Posto isso, a comparação entre parâmetros revela, de fato, quais fatores resultam em maiores ou menores temperaturas.

O dispositivo pode ser replicado e instalado em todos os passes da máquina de trefilar, porém não é recomendado que seja aplicado durante a produção, devido à desativação da fieira rotativa. No entanto, o dispositivo pode ser utilizado para testes de variação de parâmetros industriais, como o tipo do sabão lubrificante utilizado e geometria da fieira. Ajudando na escolha de parâmetros que fornecem a menor temperatura de trefilação possível, e assim, possibilitando que se atinja velocidades superiores e conseqüentemente, uma maior produtividade.

6 CONCLUSÕES

O estudo e monitoramento da temperatura do núcleo da fieira durante o processo de trefilação industrial é procedimento que não costuma ser realizado pela indústria devido às suas grandes dificuldades operacionais, mas que, quando feito, pode proporcionar ganhos de performance, e consequentemente, ganho de produtividade. O presente trabalho foi capaz de superar os obstáculos técnicos e propõe um dispositivo e uma metodologia para medição e monitoramento de temperatura no interior de uma fieira no processo de trefilação industrial.

Para atingir seu objetivo, este trabalho baseou-se tanto na literatura existente, como também no conhecimento industrial passado pela empresa parceira, a Gerdau, uma das principais trefiladoras de aço do mundo. Com o resultado dessa análise foi possível projetar e confeccionar um dispositivo capaz monitorar a temperatura no interior da fieira de maneira relativamente simples, eficiente e versátil, podendo ser aplicado em diferentes processos de trefilação industrial.

O monitoramento da temperatura no interior da fieira é um tema com ampla aplicação e interesse industrial, sendo assim, este trabalho é o ponto inicial para uma série de estudos que poderão aplicar a metodologia e o equipamento propostos. Uma vez que o dispositivo tenha sido testado e aprovado, uma aplicação recomendada para projetos futuros, é o monitoramento de temperatura, em função da velocidade de trefilação, com diferentes tipos de sabões lubrificantes, com a finalidade de se estabelecer, dentro da ampla gama de sabões existentes no mercado, qual o sabão melhor atende para cada processo específico, também pode se buscar a combinação de sabões. As oportunidades de análises que poderão ser realizadas são imensas.

Com base nesse trabalho apresentado, o dispositivo foi testado por Fernandes, A.C., executando uma série de testes práticos nas dependências da Gerdau de São José dos Campos, utilizando uma máquina de trefilação industrial e parâmetros operacionais reais. Os testes feitos por Fernandes, A.C. comprovaram a eficácia do dispositivo e da metodologia para monitoramento de temperatura, os resultados podem ser conferidos em seu trabalho: “Monitoramento de Temperatura no Interior da Fieira: Experimentos de Viabilidade”.

REFERÊNCIAS

Dieter, G.E., Semiatin, S.L. e Kuhn, H.A. 2003. Drawing of Wire, Rod, and Tube. [A. do livro] Handbook of Workability and Process Design. s.l. : ASM International, 2003.

Dieter, George E. 1981. Metalurgia Mecânica. 2ª Ed. s.l. : Guanabara Dois, 1981.

Filho, Ettore Bresciani. 2011. Conformação Plástica dos Metais. 6ª Edição (Primeira digital). 2011.

Levrau, Carole. 2006. *Compréhension et modélisation des mécanismes de lubrification lors du tréfilage des aciers inoxydables avec des savons secs.* Sciences de l'ingénieur [physics]., École Nationale Supérieure. Paris : s.n., 2006.

Wikipedia. 2020. Nürnberger Hausbücher. *Wikipedia.org*. [Online] 2020. [Citado em: 12 de Abril de 2020.] https://de.wikipedia.org/wiki/N%C3%BCrnberger_Hausb%C3%BCcher.

Wright, Roger N. 2011. Wire technology : Process Engineering and Metallurgy. s.l. : Elsevier, 2011.